

## Composition de Physique 1, Filière PC

Rapport de MM. Bernard Andrieu et Frédéric Van Wijland, correcteurs.

La première épreuve de physique de la filière PC traitait de phénomènes faisant appel au frottement solide et plus particulièrement au mouvement « collé-glissé » (*stick-slip*). Le problème, divisé en trois parties indépendantes, abordait d'abord la nature même du mouvement de collé-glissé (parties I et II) puis en prenait prétexte comme mécanisme excitateur d'un milieu solide dont les propriétés acoustiques étaient alors étudiées (partie III). L'essentiel étant rappelé en préambule, l'énoncé ne demandait que peu de connaissances préalables : pour l'aborder avec succès, il fallait maîtriser les concepts fondamentaux de mécanique, mais surtout faire preuve d'attention et d'un sens physique bien concret. La troisième partie exigeait en outre une grande précision dans les raisonnements avec découpages infinitésimaux. Mathématiquement, en revanche, le sujet n'était pas exigeant.

Le concours étant destiné à sélectionner des scientifiques de haut niveau, les correcteurs attendent pour chaque question une réponse complète présentant un raisonnement correct et énonçant clairement le théorème ou la loi physique exploités. Ceci était particulièrement vrai ici compte tenu de la nature physique des réponses attendues, notamment dans la première partie, et spécialement pour les questions dont le résultat était donné dans l'énoncé. Comme toujours en mécanique, il était indispensable de préciser les systèmes considérés à l'occasion d'un bilan des forces.

De manière générale, les copies faisant un effort de rédaction et de présentation bénéficient d'un a priori favorable susceptible de se répercuter sur la note finale. A l'inverse, les tentatives pour faire croire au correcteur que l'on a démontré un résultat, alors qu'à l'évidence le raisonnement ne tient pas, sont facilement déjouées et ne constituent donc pour le candidat qu'une perte de temps (et de considération de la part du correcteur) : elles sont à déconseiller formellement.

Les candidats ont abordé à peu près équitablement les trois parties, mais n'ont été véritablement à l'aise sur aucune avec seulement 39%, 19% et 34% des points attribués en moyenne, respectivement pour les première, deuxième et troisième parties. Ceci est particulièrement décevant pour la deuxième partie, qui était la plus longue (mais aussi la plus difficile) et donc celle susceptible de contribuer le plus à la note totale. Les questions les plus difficiles n'ont été traitées que par une poignée de candidats.

Les notes des candidats français se répartissent selon le tableau suivant :

|                         |      |       |
|-------------------------|------|-------|
| $0 \leq N < 4$          | 217  | 16,9% |
| $4 \leq N < 8$          | 540  | 42 %  |
| $8 \leq N < 12$         | 358  | 27,9% |
| $12 \leq N < 16$        | 134  | 10,4% |
| $16 \leq N \leq 20$     | 35   | 2,7%  |
| Total                   | 1285 | 100 % |
| Nombre de copies : 1285 |      |       |
| Note moyenne 7,58       |      |       |
| Écart-type : 3,72       |      |       |

## Partie I

C'est la partie qui exigeait le plus de précision dans la rédaction. Différentes phases du mouvement d'une poutre posée sur deux supports faisaient l'objet d'une analyse détaillée. La conclusion de cette partie proposait une mesure expérimentale du rapport du coefficient de frottement cinétique sur le coefficient de frottement statique.

**1.** A l'équilibre, résultante et moment cinétiques sont nuls, ce qui permettait de déterminer les forces demandées, à condition de bien préciser par rapport à quel axe les moments étaient évalués. De nombreux candidats (plus de 30%) ont chuté dès cette première question, souvent en intervertissant 1 et 2 dans les équations. Une vérification simple consistant à poser  $a_0 = 0$  (qui devait donner de façon évidente  $R_{N1} = mg$ ) aurait dû leur permettre de détecter cette erreur.

**2.** Si la plupart des candidats ayant répondu à la question précédente ont trouvé la bonne substitution, la justification n'en a souvent pas été tout à fait exacte : la poutre pouvant être en mouvement accéléré, le théorème du moment cinétique ne s'appliquait pas en G.

**3.** A lire certaines des réponses proposées, on imagine la salle où a eu lieu la composition emplie de candidats réalisant l'expérience en direct avec leur double-décimètre... Le début de la question exigeait certes une réponse intuitive, car un raisonnement par l'absurde ne pouvait aboutir. Il importait toutefois de préciser le lien logique entre le fait de glisser en premier et les amplitudes relatives des forces de frottement. Par ailleurs, le calcul des composantes tangentielles des forces de frottement a donné lieu à de nombreuses erreurs de signe dues, semble-t-il, à une application « à l'envers » des lois de frottement du solide, erreur qui pouvait être évitée par le simple bon sens.

**4.** Si la condition de glissement a bien été identifiée, cette question n'a pas posé de problème.

**5.** C'était la question la plus délicate de la partie I. On attendait un argument de quelques mots pour justifier l'existence d'une phase intermédiaire de glissement sur les deux sup-

ports, aspect de la question qui n'a été traité que par 10% des candidats. Le calcul de la somme des forces de frottement a été affecté par les erreurs apparues précédemment (erreurs de signe et/ou interversion de 1 et 2 au début du problème). La question sur le critère déterminant la fin de cette phase a donné lieu dans de trop nombreuses copies à une incroyable erreur de logique élémentaire consistant à transformer l'implication donnée en rappel (si la vitesse de glissement est nulle alors  $|f| \leq \mu_S |N|$ ) en son opposé (si  $|f| \leq \mu_S |N|$  alors le glissement cesse), sans que le fait que cette dernière prémisse soit toujours vraie en cas de glissement n'ait l'air de gêner ces candidats. Une autre erreur curieuse consistant à transformer la conséquence du non-glissement sur un des supports (somme des forces nulle du fait du mouvement rectiligne uniforme) en sa condition suffisante est aussi apparue fréquemment. Là encore, seuls 10% des candidats ont finalement fourni le bon critère.

**6.** Quelques mots suffisaient, mais ceux qui ont refait les calculs du **4.** n'ont pas été pénalisés. Ceux qui s'étaient trompés dès la question **3.** (tout en raisonnant correctement en **4.** et **5.**) n'ont pu arriver à ce résultat (tout du moins selon une démarche logique et rigoureuse!).

**7.** Question ne nécessitant qu'une petite transformation arithmétique pour les candidats ayant répondu à **4.** et **6.** (à noter qu'il n'était pas demandé de justifier l'approximation effectuée). Le « moyen simple d'évaluer le rapport  $\mu_C/\mu_S$  » nécessitait une description, même très sommaire, de l'expérience à réaliser, les correcteurs ne pouvant se contenter de « on mesure  $D(t_2)$  et  $D(t_1)$  », réponse un peu trop facile du fait que l'expression était donnée dans l'énoncé...

## Partie II

Cette partie était probablement la plus complexe et nécessitait beaucoup d'attention, ne serait-ce que du fait des changements de variable. Les dernières questions de cette partie n'ont d'ailleurs été traitées complètement que par une poignée de candidats, voire aucun pour la toute dernière.

**1.** Là encore, le principe fondamental de la dynamique devait être invoqué : il importait de préciser le référentiel, le système et les forces à l'œuvre. Il est un peu décevant que le taux de réussite (90%) à une question si simple ne soit pas plus proche de 100%.

**2.** Il est fortement recommandé aux candidats de bien prendre garde aux définitions de l'énoncé : confondre  $x$  et  $X$  à cet endroit rendait la suite bien ardue. Il importe aussi de répondre aux questions posées : l'intervalle de  $X$  n'est pas l'intervalle de  $x$  (les réponses justes ont néanmoins été créditées). À noter également le nombre surprenant de réponses où l'équation différentielle régissant l'évolution de  $X$  apparaît avec une faute de signe (similaire à celle observée en **I.3**). Finalement, seuls 40% environ des candidats ont donné les expressions correctes pour  $X_1$  et  $X_2$ .

**3.** La maigreur du nombre de réponses justes devrait inciter les candidats à reprendre les bases de leur cours de mécanique du point. Ce mouvement de collé-glissé est abondamment traité dans les ouvrages de physique de classes préparatoires.

**4.** Arithmétique élémentaire sans aucune difficulté dès lors que **2.** avait été correctement traitée. Pourtant de nombreux candidats ayant répondu correctement aux questions précédentes n'ont pas abouti à l'expression attendue.

**5.** Cette question, qui semblait assez simple (il ne s'agissait que du portrait de phase d'un oscillateur harmonique), n'a été traitée entièrement que par environ 20% des candidats. Le tracé demandé par l'énoncé a parfois été oublié.

**6.** Le candidat était amené progressivement à décomposer les éléments caractéristiques du portrait de phase, dont un segment représentatif du collage. Cette question n'aurait pas dû poser de problème, mais, comme en **I.5**, le critère de non-glissement a été difficilement identifié.

**7.** Cette question difficile (moins de 2% de bonnes réponses) guidait le candidat à travers les trois étapes du mouvement dans l'espace des phases. Pour y répondre, il fallait absolument s'aider d'un tracé précis du portrait de phase demandé. La justification de l'indépendance par rapport aux conditions initiales nécessitait un minimum d'explications, qui a rarement été donné.

**8.** Cette question ne présentait pas de difficulté si on avait répondu à la question précédente. Cependant, même en partant d'un portrait de phase correct, les candidats ont eu de la peine à en extraire les propriétés physiques et peu ont ainsi pu déterminer la période demandée.

**9.** Le référentiel utilisé devait être précisé. Il fallait prendre garde à la définition précise du travail et, en particulier, noter que le travail des forces de frottement est nul en phase de collage.

### Partie III

Cette dernière partie, divisée en trois sous-parties, était la plus simple au niveau physique, même si elle était (relativement) la plus compliquée au niveau calculatoire. Hormis vers la fin, le découpage d'un tube en volumes élémentaires en constituait la principale difficulté. Pour le reste, il suffisait de se laisser guider par l'énoncé en évitant les erreurs de calcul.

**1.1.** Aucun développement mathématique n'était attendu, seule une justification qualitative, comme l'attestait le terme volontairement imprécis d'« allure géométrique ». La présence de nœuds et de ventres de vibration n'a malheureusement pas été mise en avant par tous les candidats, loin s'en faut.

**1.2.** Cette question, qui demandait simplement la mention des termes d'énergie potentielle et d'énergie cinétique, a été en général bien traitée (environ 85% des candidats).

**1.3.** Il était possible de conclure par analogie ou en utilisant la conservation de l'énergie mécanique, mais cela devait être précisé.

**2.1.** Cette question simple a donné lieu à un large spectre de réponses, alors qu'il suffisait de noter que l'élément de tube était infinitésimal en angle polaire, mais de hauteur et d'épaisseur finies, pour trouver la seule correcte. L'analyse dimensionnelle aurait dû par ailleurs permettre de prendre conscience de nombreuses erreurs : son usage ne peut qu'être vivement encouragé.

**2.2.** La réponse consistait en une simple dérivation par rapport au temps de l'expression donnée en préambule : aucune erreur ne devrait être commise en dérivant une fonction cosinus.

**2.3.** De trop nombreuses erreurs d'inattention dans ces calculs nécessitant uniquement de savoir dériver ou intégrer les fonctions sinus et cosinus. Seul le choix d'une borne d'intégration correcte, qui imposait de reconnaître la présence d'un noeud de vibration, présentait une (légère) difficulté.

**2.4.** Il était utile de préciser le système considéré (et les sous-systèmes élémentaires qui le constituaient). Point technique culminant du sujet, avec l'intégrale de cosinus au carré, cette question a été bien peu souvent résolue, quand bien même les réponses antérieures fournissaient un point de départ correct.

**3.1.** Il s'agit d'une question où le raisonnement géométrique a été bien traité.

**3.2.** Si la définition du module d'Young (partie intégrante du programme et rappelée dans l'énoncé) était bien comprise et les longueurs ou surfaces en jeu bien identifiées, cette question ne devait pas poser problème. L'écriture de la section élémentaire du filament a malgré tout été source d'erreurs pour certains candidats. De trop nombreux candidats ayant donné la bonne réponse n'ont également pas vu qu'il fallait négliger les termes du premier ordre en  $u/R$  (approximation suggérée par l'inégalité  $a \ll R$  donnée en préambule) pour pouvoir continuer.

**3.3.** Seule une très faible fraction (moins de 3%) des candidats a pu donner l'expression de l'énergie potentielle élastique, alors qu'une simple analogie avec un ressort fournissait la bonne réponse.

**3.4.** Question sans difficulté qui n'a malheureusement pu être abordée que par une poignée de candidats (moins de 1%), compte tenu de l'échec à **3.3**.

**4.** Deux copies seulement ont fourni la réponse attendue.

## Conclusion

Ce problème ne présentait pas de difficultés particulières : un minimum d'intuition et de compréhension des deux lois rappelées dans l'énoncé, un peu de sens logique élémentaire ainsi que de l'attention pendant la lecture de l'énoncé et lors des calculs permettaient d'obtenir une note au moins égale à 10. La moyenne des notes, assez basse, ne fait ainsi que refléter le niveau très décevant d'une majorité de copies.